



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 43 43 088.0
22 Anmeldetag: 18. 12. 93
43 Offenlegungstag: 22. 6. 95

DE 43 43 088 A 1

71 Anmelder:
Keller, Jürgen U., Univ.-Prof. Dr., 57076 Siegen, DE

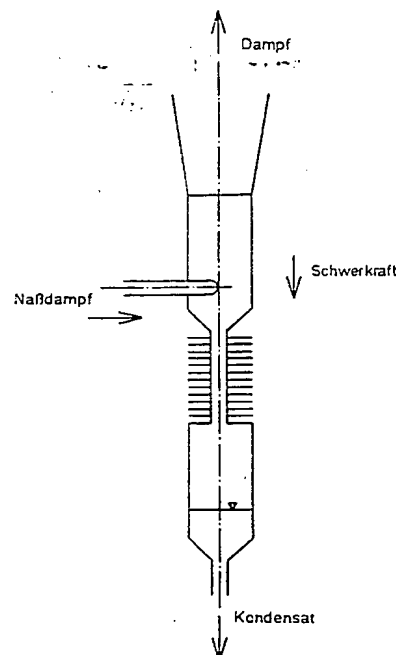
72 Erfinder:
gleich Anmelder

54 Kondensationswirbelrohr

57 Die Erfindung betrifft ein Kondensationswirbelrohr zur Trocknung, Separation und Überhitzung gesättigter oder nasser Dämpfe, wie sie als Arbeitsstoffe der Energietechnik und der thermischen Verfahrenstechnik benutzt werden. Das Kondensationswirbelrohr besteht aus einem abgeänderten und ergänzten Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch, in welches ein nasser oder gesättigter Arbeitsmittelstrom eintritt, in eine Drallströmung verwandelt wird und unter der kombinierten Wirkung der Fliehkräfte, der Kondensationsstendenz des Fluids durch die erfolgte Druckabsenkung und der Schwerkraft in einen nach oben austretenden trockenen, im allgemeinen überhitzten Dampfstrom und einen flüssigen, nach unten austretenden Kondensatstrom zerlegt wird. (Figur 1)

Bei Wärmekraftprozessen führt die Verwendung eines Kondensationswirbelrohrs zur besseren Ausnützung der vorhandenen Wärme, d. h. zu einer Erhöhung des exergetischen Wirkungsgrades.

Bei verfahrenstechnischen Prozessen kann das Kondensationswirbelrohr energetisch vorteilhaft anstelle eines Zyklons oder eines Separators verwendet werden.



DE 43 43 088 A 1

Beschreibung

Kurzform

Die Erfindung betrifft ein speziell ausgeformtes Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch, welches unter Ausnutzung der Erdschwere, d. h. mit lotrechter Achse, zur thermischen und phasenmäßigen Separation gesättigter oder feuchter Dämpfe in einen überhitzten, trockenen Dampfstrom und einen unterkühlten Kondensatstrom verwendet werden kann.

1. Stand der Technik

In kalorischen Kraftwerken oder Dampfkraftwerken herkömmlicher Art wird heute überwiegend der Kreisprozeß nach Clausius-Rankine in einstufiger oder mehrstufiger Art eingesetzt. Dieser Prozeß hat den grundsätzlichen Nachteil, daß die Verdampfung des Arbeitsfluides, gewöhnlich Wasser, nicht bei der maximal zur Verfügung stehenden Temperatur (T), sondern nur bei einer niedrigen Temperatur (T_1) durchgeführt werden kann. Ursache dafür ist der Umstand, daß bei der Entspannung des Arbeitsdampfes in einer Turbine darauf geachtet werden muß, daß keine oder nur sehr geringe Anteile an Kondensat entstehen, daß also der Expansionsprozeß weit genug von der Taulinie des Arbeitsstoffes stattfinden muß. Dies ist aus einem Wärmediagramm des Prozesses, vgl. Fig. 6, einfach ersichtlich. Dort ist der gewöhnliche Clausius-Rankine-Prozeß durch die Zustände 1, 1', 2, 3', 3'', 4, 1 dargestellt.

Die Lage des für den thermischen Wirkungsgrad wichtigen Zustands 4 ist im Schnitt der Isobaren des Kompressionsdrucks (p_1) und der Isothermen (T) bereits festgelegt. Damit sind aber auch die durch den Unterschied zwischen der Temperatur (T) der zur Verfügung stehenden Wärme und der kleineren Verdampfer Temperatur (T_1) bedingten Exergieverluste unvermeidlich geworden. [1,2].

2. Aufgabenstellung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, den klassischen Wärmekraftprozeß nach Clausius-Rankine so weiterzubilden, daß die oben angeführten Exergieverluste vermieden werden, daß also das Arbeitsmedium möglichst bei der Temperatur der zur Verfügung stehenden Wärme oder Abwärme verdampft wird. Dadurch soll der Verlauf des Prozesses "carnotisiert" werden, d. h. möglichst dem im Wärmediagramm (T,s) als Rechteck erscheinenden Carnot-Prozeß zwischen den Temperaturen T und T_0 angenähert, und damit eine Erhöhung des Wirkungsgrades bzw. der Leistungszahl des Prozesses erreicht werden. Diese Aufgabe wird durch Einsatz eines Kondensationswirbelrohres, d. h. einer Dampftrocknungseinrichtung nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 und 3. Ansprüche 4 und 5 betreffen vorteilhafte Verwendungen dieser Einrichtung.

3. Beschreibung der Erfindung

Als Kern der Erfindung wird es angesehen, aus gesättigtem Dampf oder aus Naßdampf durch Teilentspannung in einem Rohr unter Ausnutzung des Ranque-Hilsch-Effektes trockenen, überhitzten Dampf und flüssiges Kondensat zu erzeugen. Dadurch ist es möglich,

den Verdampfungs- und Überhitzungsprozeß in einem klassischen Kreisprozeß nach Clausius und Rankine, d. h. die Zustandsänderung 3', 3'', 4, durch einen Verdampfungsprozeß 6', 6'' bei der höchsten im System zur Verfügung stehenden Temperatur T, und Nachschaltung eines Kondensationswirbelrohres, d. h. Erzeugung von zwei Teilströmen, nämlich eines Warmstroms im Zustand 7, Massenanteil (1-x) und eines Kondensatstroms, Massenanteil (x), vgl. Fig. 6 und Schaltbild Fig. 5, zu ersetzen. Der resultierende Kreisprozeß 8, 1'', 1', 5, 6', 6'', 7, 8 hat, obwohl der Arbeitsmittelstrom gegenüber dem herkömmlichen Prozeß um den Faktor (1-x) verringert ist, einen größeren Wirkungsgrad, als der herkömmliche Prozeß 1, 1'', 1', 2, 3', 3'', 4, 1, [3].

Der Ranque-Hilsch-Effekt, bei dem komprimierte Gase durch Entspannung einem dynamischen thermischen Separationsprozeß unterworfen werden, bei dem ein Kaltgas- und ein Heißgasstrom entsteht, ist seit vielen Jahren bekannt. Auf die Basisveröffentlichungen von G. Ranque (Journal de physique et le radium, 4(1933), Nr. 7), sowie R. Hilsch (Z. f. Naturforschung, 1(1946), 208-214) wird Bezug genommen.

Weniger bekannt ist, daß dieser Effekt auch bei der Entspannung gesättigter Dämpfe und Naßdämpfe auftritt, dort aber zusätzlich zur thermischen Separation eine Phasenseparation, d. h. die Bildung eines flüssigen und einer neuen dampfförmigen Phase, beobachtet wird.

In Versuchen konnte nachgewiesen werden, daß Satt- oder Naßdampf, der in ein geeignet dimensioniertes Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch eingeleitet wird, teilweise kondensiert und das Kondensat durch die Wirkung der Schwerkraft von der übrigen Dampfphase abgetrennt werden kann. Ursache für die Kondensation ist ein dynamischer thermischer Separationseffekt, der aus einer beim Einlauf des Satt- oder Naßdampfes in das Innere des Wirbelrohres sich ausbildenden Drallströmung resultiert. In ihr wird unter dem Einfluß der Fliehkraft und der durch die Druckabsenkung verstärkten Kondensationstendenz des Fluides im wandnahen Bereich Kondensat gebildet, welches unter der Wirkung der Schwerkraft nach unten in ein trichterartiges Rohr (15) zusammen mit in Achsenähe sich bildenden Kaltdampf abfließt. Dieses Flüssigkeit-Dampf-Gemisch wird durch ein Rippenkühlrohr (10) geführt, wo weitere Kondensation auftritt. Das Kondensat wird in einem Sammelbehälter (11) gesammelt und durch ein Rohr (13) abgeleitet.

Der in der Drallströmung verbleibende Dampf wird durch die Wirkung der Zentrifugalkräfte und durch die Expansion des achsnahen Anteils der Strömung komprimiert, erwärmt sich adiabatisch und steigt wegen seiner im Vergleich zum Kondensat geringen Dichte nach oben auf, expandiert in einem konusartigen Rohrabschnitt (9) und tritt mit geringerem Druck aber erhöhter Temperatur gegenüber dem Eintrittszustand aus dem oberen Teil des Rohres aus.

4. Ausführungsbeispiel

Fig. 1, 2 Schematische Schnittdarstellung einer Dampftrocknungseinrichtung mit Wirbelrohrabschnitt;

Fig. 3 Teilschnittdarstellung durch den Wirbelrohrabschnitt der Dampftrocknungseinrichtung;

Fig. 4 Darstellung des Gewinderings der Einrichtung; Darstellung des Düsenringes im Wirbelrohrabschnitt der Einrichtung.

Bezug: Fig. 1, 2

Die dort dargestellte Dampftrocknungseinrichtung (1) weist einen Wirbelrohrabschnitt (2) auf, in den tangential an den Querschnitt durch eine Eintrittsdüse (4) ein Arbeitsstoff (3), d. h. ein Fluid im Sattedampf- oder im Naßdampfzustand eingeführt wird. Die Oberflächen der Wandungen (5) des Wirbelrohrabschnittes müssen in besonderer Weise poliert sein, damit sich die Drallströmung in der Umgebung der Eintrittsdüse ungestört und vollständig ausbilden kann. Durch dynamische Separation bildet sich in der Umgebung der Eintrittsdüse (4) eine Drallströmung, in welcher das Arbeitsfluid (3) teilweise kondensiert. Unter dem Einfluß der Schwerkraft (6) fließt das Kondensat zusammen mit einem gewissen Anteil an Kaltdampf nach unten durch ein als Kondensatsammler wirkendes Konusrohr (15) in ein mit Rippen besetztes Rippenkühlrohr (10), und wird dort durch Abfuhr von Restwärme vollständig kondensiert. Das Kondensat wird in einem Kondensatsammelbehälter (11) gesammelt und durch einen Kondensatableiter (13) abgeführt. In der Figur ist ein möglicherweise sich ausbildender Kondensatspiegel (14) angedeutet. An den Wirbelrohrabschnitt (2) ist nach oben ein konusartig sich erweiternder Expansionsabschnitt (9) angefügt. In ihm steigt der im Wirbelrohrabschnitt (2) gebildete Warmstrom, der aus überhitztem, trockenem Dampf besteht, auf.

Bezug: Fig. 3

Diese zeigt einen Querschnitt durch den Wirbelrohrabschnitt der Einrichtung. Der Düsenkörper (17) enthält in seinem oberen Teil den Expansionsabschnitt (9), in der Mitte den Düsenring (20), der im oberen Teil der Fig. 4 noch detailliert dargestellt ist, das Konusrohr (15), durch welches das Kondensat und der Kaltdampf nach unten austreten, einen Gewinding (19), durch den der Düsenring (20) und das Konusrohr (15) im Düsenkörper (17) zusammengefügt werden. Ferner erkennt man den Arbeitsstoffzufuhrkanal (24) und einen Ringkanal (27), aus dem das Arbeitsmedium in die Düsenkanäle (21) des Düsenringes (20) eintritt.

Bezug: Fig. 4

Diese zeigt den Düsenring (20). Er enthält mindestens 4 nutartige Kanäle (21), durch welche das Arbeitsmedium (3) vom Ringkanal (27), eine Eintrittsöffnung (26) passierend, in den Innenraum des Wirbelrohrabschnittes gelangt. Einige mögliche Maße für die Düsenkanäle (21) sind in der Figur angegeben. Sie müssen im allgemeinen in Abhängigkeit vom gewählten Arbeitsstoff und Zustandsbereich (Dampfgehalt, Entspannungsdruckdifferenz und Temperatur) gewählt werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Dampftrocknungseinrichtung
- 2 Wirbelrohrabschnitt
- 3 Arbeitsstoff (Sattedampf oder Naßdampf)
- 4 Eintrittsdüse
- 5 Wandungen
- 6 Schwerkraft
- 7 Warmstrom (Überhitzter Dampf)
- 8 Kaltstrom (Kondensat und Dampf)
- 9 Expansionsabschnitt
- 10 Rippenkühlrohr

- 11 Kondensatsammelbehälter
- 12 Kühlrippen
- 13 Kondensatableiter
- 14 Kondensatspiegel
- 15 Konusrohr
- 16 Rohrachse
- 17 Düsenkörper
- 18 Kondensat
- 19 Gewinding
- 20 Düsenring
- 21 Düsenkanäle
- 22 Austrittsöffnung
- 23 Wandbereich
- 24 Arbeitsstoffzufuhrkanal
- 26 Eintrittsöffnung
- 27 Ringkanal

Literatur

- [1] Schmidt, K., Stephan, K., Mayinger, F. Technische Thermodynamik, Grundlagen und Anwendungen, Band 1, Einstoffsysteme, p. 295, Springer, Berlin, 11. Aufl., 1975.
- [2] Elsner, N., Dittmann, A., Grundlagen der Technischen Thermodynamik, Band 1, Energielehre und Stoffverhalten, p. 480, Akademie Verlag Berlin, 8. Aufl., 1993.
- [3] Keller, J.U., Tomalla, M., Müller, H. Wirkungsgrade von Dampfkraftprozessen mit Wirbelrohrentspannung, Studienarbeit Inst. Fluid- und Thermodynamik, Universität Siegen GH, 1993.

Patentansprüche

1. Dampftrocknungseinrichtung (1) (vgl. Figur Nr. 2), in welcher ein einströmender Arbeitsstoff (3) im Naßdampf oder Sattedampfzustand einem dynamischen Entspannungsprozeß unterworfen wird, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) der Arbeitsstoff (3) wird über eine Eintrittsdüse tangential an den Querschnitt eines Wirbelrohrabschnittes (2) unter Bildung einer Drallströmung eingeführt, kondensiert dort teilweise und separiert sich unter der Einwirkung der Schwerkraft (6) in einen nach oben abfließenden Warmstrom (7), der aus überhitztem trockenem Dampf besteht, und einen nach unten durch ein sich verjüngendes trichterartiges Rohr (15) abfließenden Kaltstrom (8), welcher aus Kondensat und Kaltdampf besteht;
- b) der Kaltstrom (8) wird durch ein Rippenkühlrohr (10) geleitet, in einem darunter angeordneten Kondensatsammelbehälter (11) gesammelt und über einen Kondensatableiter (13) abgeleitet.

2. Dampftrocknungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der vom Warmstrom (7) durchsetzte Wirbelrohrabschnitt in Fließrichtung nach oben einen sich anschließenden, konusartigen Expansionsabschnitt (9) aufweist gemäß Figur Nr. 3.

3. Dampftrocknungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Wirbelrohrabschnitt (vgl. Figuren Nr. 2, Nr. 3) einen Düsenring (20) mit mindestens 4 Eintrittsöffnungen (26), Eintrittskanälen (21) und tangential an die Ringwandungen anschließenden Austrittsöffnungen (22) besitzt.

4. Verwendung einer Dampftrocknungseinrichtung

5 nach einem der Ansprüche 1—3 in Wärmekraftprozessen und Dampfkraftprozessen mit Clausius-Rankine-Kreisläufen oder mehrstufigen Erweiterungen dieses oder verwandter Prozesse nach Art der in Fig. 5 dargelegten Schaltung oder sinngemäß 5
6 Schaltungen bei mehrstufigen oder zusammengesetzten Prozessen mit anorganischen oder organischen Arbeitsstoffen oder Arbeitsstoffgemischen.
7 5. Verwendung einer Dampftrocknungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1—3 in Apparaten und 10
8 Anlagen der Verfahrenstechnik zur Abtrennung flüssiger Anteile in Zweiphasengemischen, bestehend aus einer flüssigen und einer dampfförmigen Phase, in gesättigten oder übersättigten Gas-
9 Dampf-Gemischen wie z. B. feuchter Luft oder Lö- 15
10 sungsmittel-Luft oder Benzin-Luft-Gemischen.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

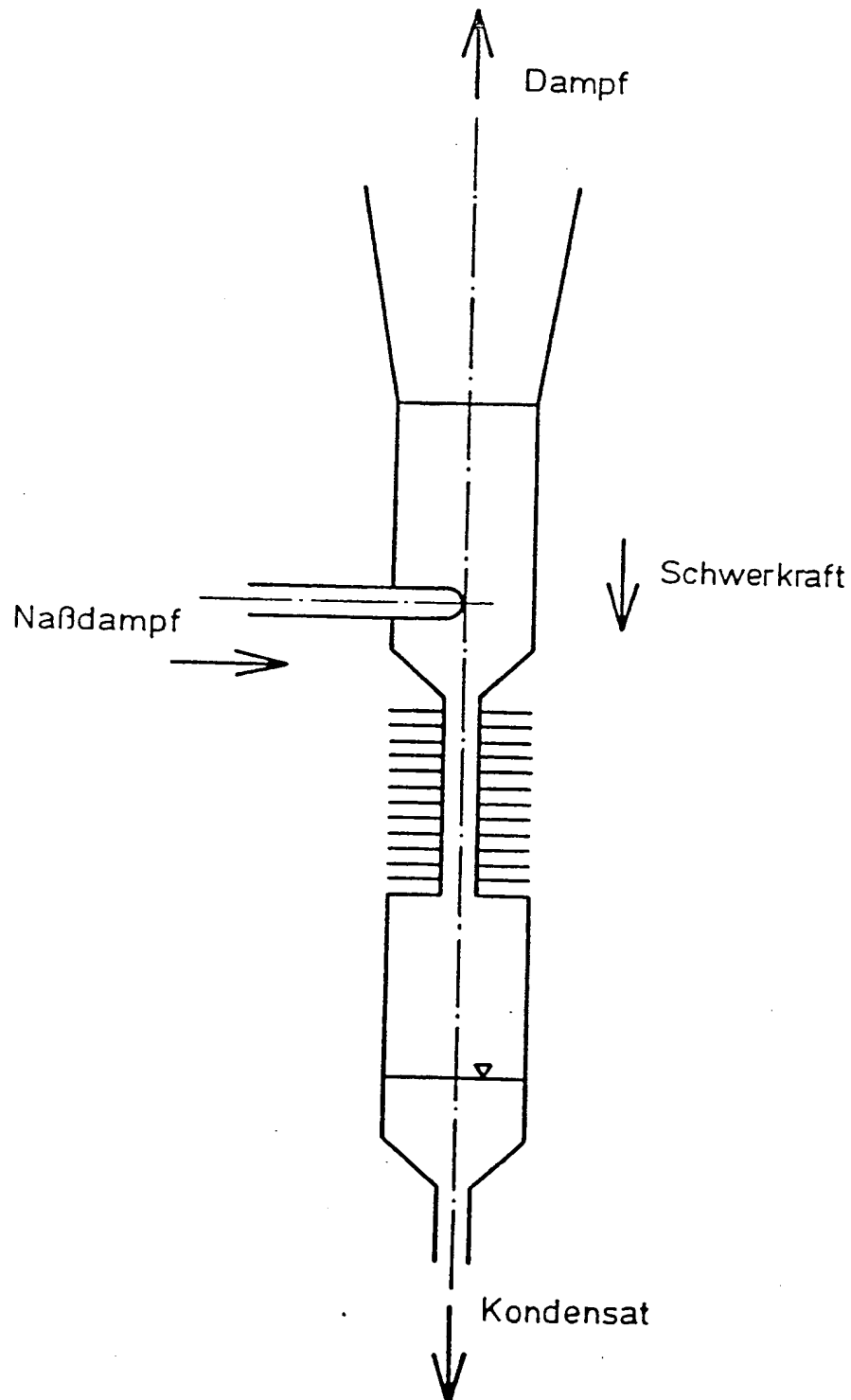
45

50

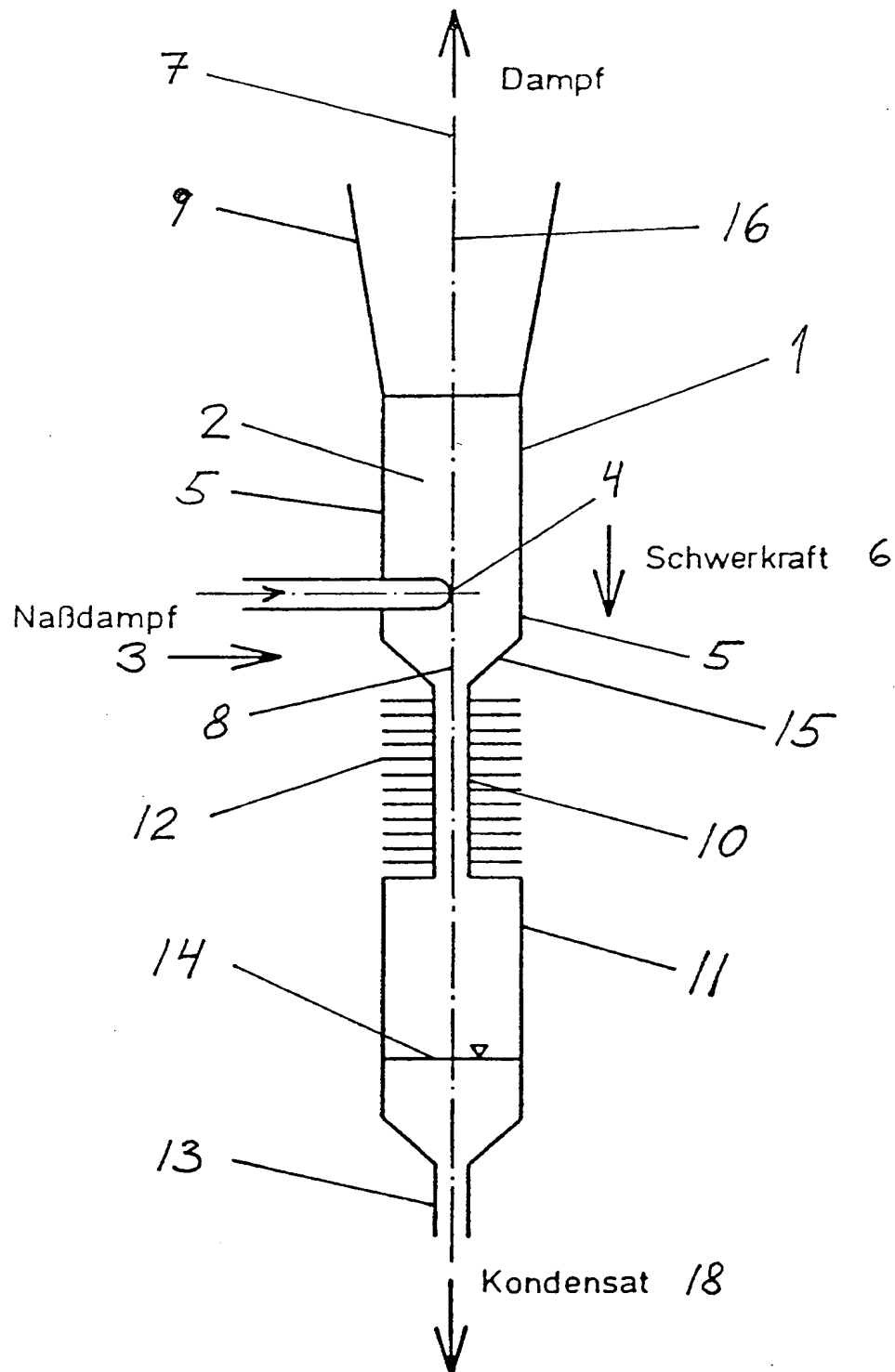
55

60

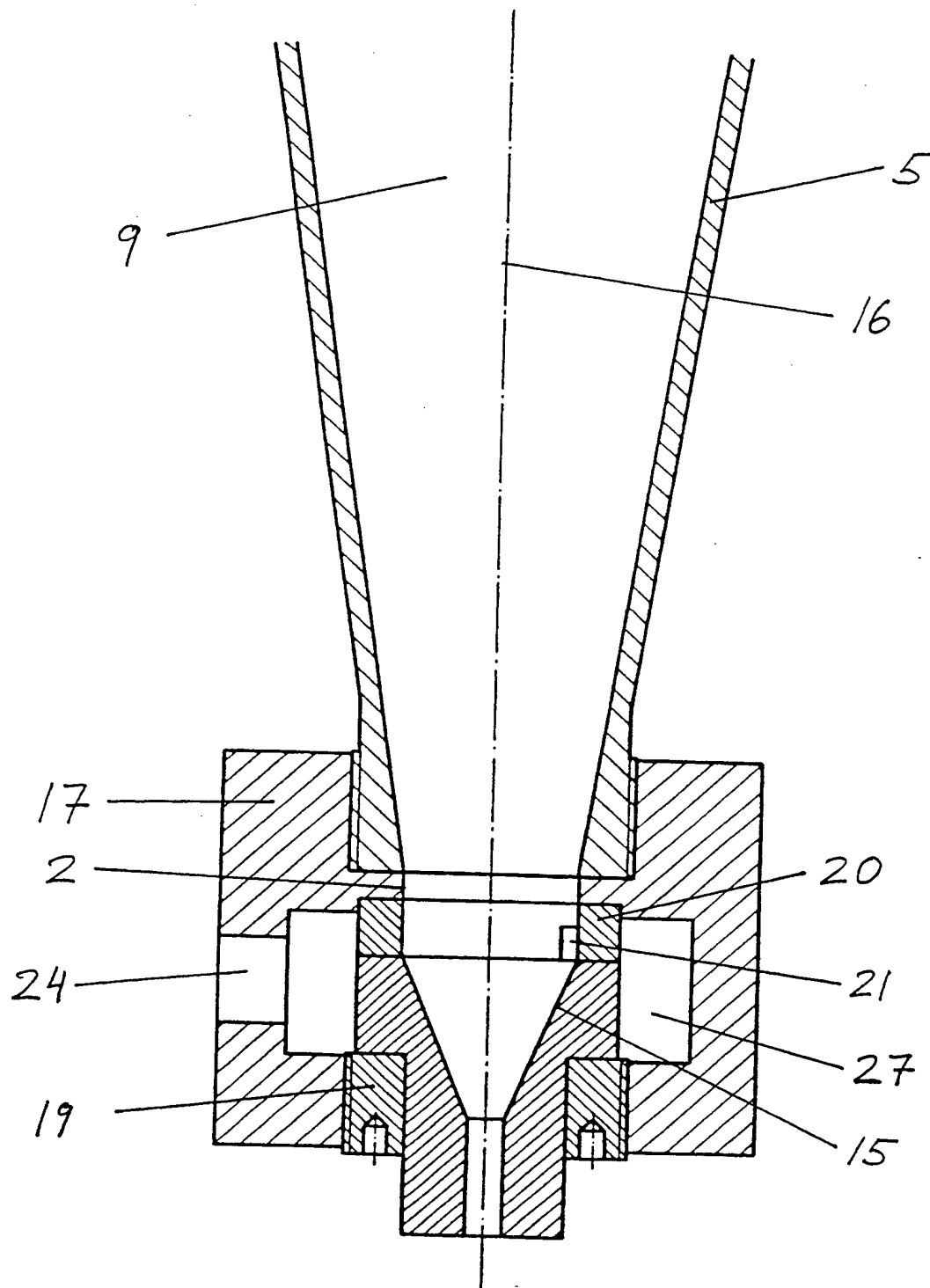
65



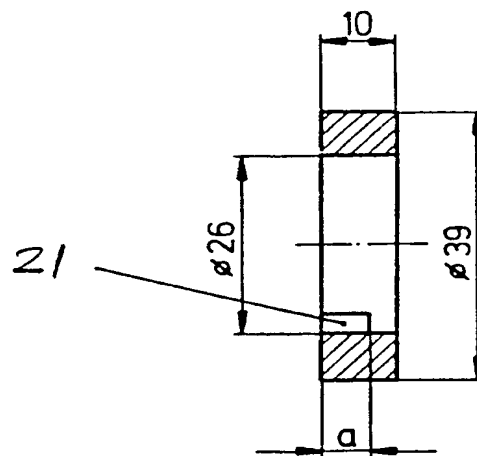
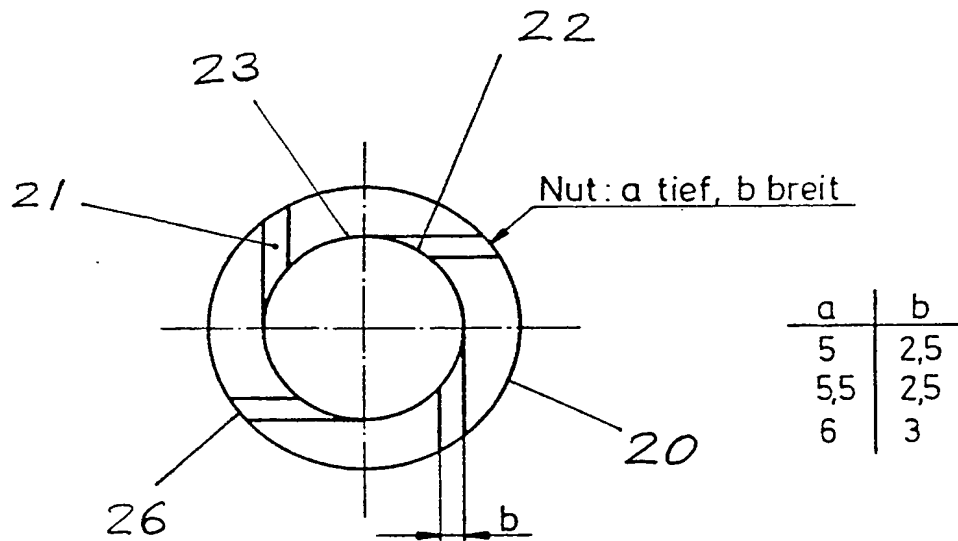
Figur Nr. 1



Figur Nr. 2

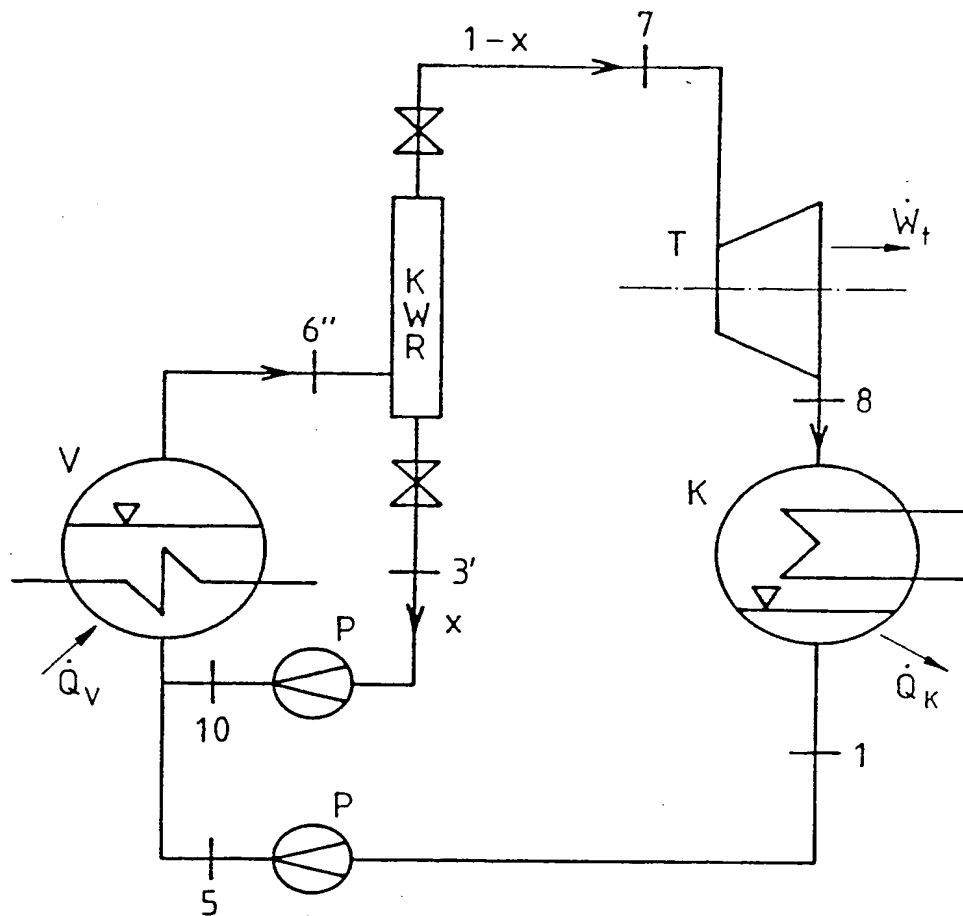


Figur Nr. 3

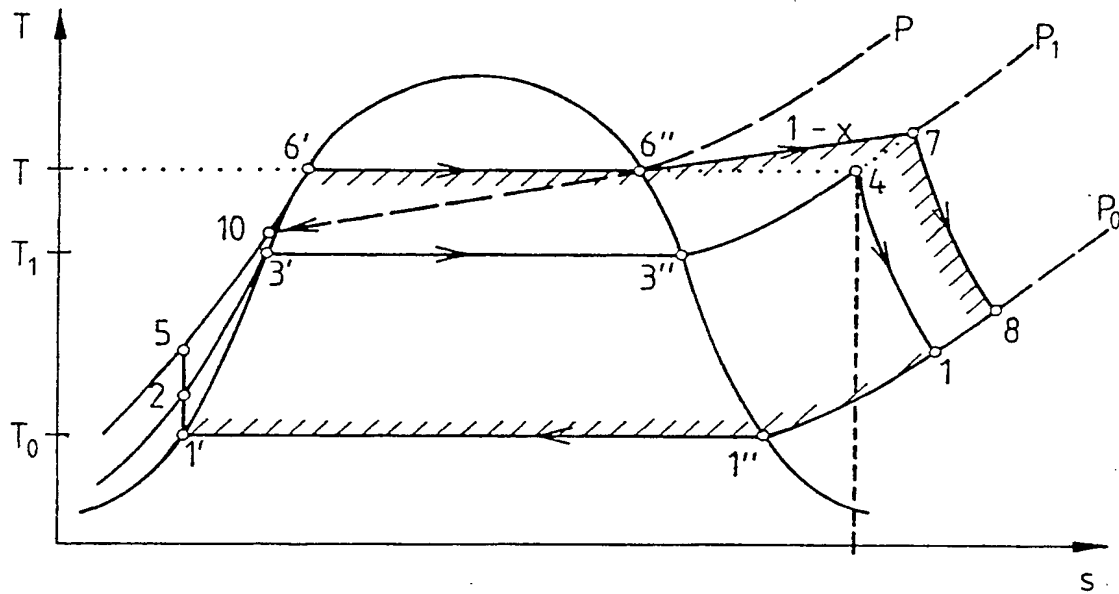


Düsenring 20

Figur Nr.4



Figur Nr. 5



Figur Nr. 6